

Thiết kế và thử nghiệm hệ thống lái tự động tàu thủy trên tàu mô hình Santana dựa trên phương pháp điều khiển Noron – Mờ
Ship Autopilot System Design and Testing on Santana Ship Model Based on Neural-Fuzzy Method

TS. Đặng Xuân Kiên, ThS. Nguyễn Thanh Quỳnh, TS. Nguyễn Xuân Phương

Trường Đại học Giao thông vận tải Tp. Hồ Chí Minh

e-Mail: dangxuankien@hcmutrans.edu.vn

Tóm tắt: Trong bài báo này, bộ điều khiển hồi tiếp ngõ ra noron – mờ (ANFIS) được dùng để thiết kế hệ thống lái tự động tàu thủy trong hệ tọa độ 3 trục tự do, điều khiển ổn định hướng đi dưới ảnh hưởng của gió, sóng và dòng chảy. Tín hiệu vào điều khiển là tín hiệu đặt hướng, góc ảnh hưởng của sóng, gió và dòng chảy lên thân tàu, tín hiệu ngõ ra là góc bẻ lái và hướng đi của tàu. Nhằm làm tăng khả năng thích nghi của hệ thống khi bị tác động từ môi trường, bộ điều khiển ANFIS được thiết kế sử dụng mạng noron – mờ để xấp xỉ tín hiệu ngõ vào và tuyến tính hóa tín hiệu ngõ ra với luật điều khiển Takagi-Sugeno. Kết quả mô phỏng bằng Matlab và thực nghiệm trên mô hình tàu Santana cho thấy tính hiệu quả và ưu điểm của phương pháp sử dụng trong bài báo này.

Từ khóa: Hệ thống lái tự động, bộ điều khiển Noron – Mờ, phương pháp Takagi-Sugeno, mô hình tàu Santana.

Abstract: This paper presents the design of Ship autopilot system based on the output feedback neural - fuzzy (ANFIS) controller in 3-axis coordinate system which controls a heading of the ship under the effect of the waves, wind and water currents. The inputs of system include the feedback heading of the ship, angle of the waves, wind and water currents, and then the outputs are a rudder angle and the heading. In order to increase the adaptability of the system under the effect of the environment, ANFIS controller is designed using of neural-fuzzy with the Takagi – Sugeno method that approximate the input signals and linearized the output signal. The simulation results via Matlab software and the experimental results on Santana ship model showed the effectiveness and advantages of the proposed method.

Keywords: Ship autopilot system, Neural-fuzzy controller, Takagi-sugeno method, Santana ship model.

Các chữ viết tắt

ANFIS: Adaptive Neural Fuzzy Inference System

DSC: Dynamic Surface Control

MMG: Manoeuvring Mathematical Modeling Group

TKS: Takagi-Sugeno

1. Đặt vấn đề

Tàu thủy là đối tượng chuyển động phức tạp vì ngoài chuyển động riêng, tàu còn chịu ảnh hưởng các tác động bên ngoài như dòng chảy, sóng, gió làm lệch hướng đi của tàu so với hướng đi mong muốn. Bên cạnh đó, lực thủy động học tác động lên thân tàu và tốc độ dòng chảy ảnh hưởng đến bánh lái cũng làm suy giảm nhiều đến chất lượng và sự ổn định của hệ thống lái. Mô hình toán học của tàu trong không gian được xây dựng với hệ trục 6 bậc tự do [1] và được phân tích, đánh giá dưới tác động của các ngoại lực tác động lên thân tàu và bánh lái [2], trong đó xét cả các yếu tố phi tuyến ảnh hưởng đến tàu, những yếu tố phi tuyến này thường được đơn giản hóa trong quá trình thiết kế để mô hình trở nên đơn giản. Để mô tả chính xác hơn hoạt động của tàu nhằm cung cấp cho bộ điều khiển đối tượng để huấn luyện cũng như thử nghiệm các phương pháp điều khiển mới thì mô hình toán học của tàu MMG được phân tích cụ thể hơn bằng cách xác định các thành phần tác động riêng lên tàu [3] như: bánh lái, chân vịt và các lực thủy động lực học ảnh hưởng đến hướng đi của tàu. Với các mô hình toán học của tàu được thiết lập và kiểm nghiệm trên tàu thật [4] các hệ số thực nghiệm trong mô hình đã được xác định chính xác. Nguyên lý tổng quan của bộ điều khiển định vị tàu thủy [5] hay hệ thống các phương tiện nổi trên mặt biển cũng đã được đề cập đến và giới thiệu tổng quan.

Phương pháp điều khiển thích nghi [6] áp dụng cho hệ thống lái tự động được nghiên cứu từ năm 1992 cho đến nay [12-13]. Thời gian gần đây một số nghiên cứu mới đã áp dụng lý thuyết điều khiển hiện đại vào điều khiển các phương tiện dưới nước, trong đó [7] và [8] đã sử dụng bộ nhận dạng mờ và noron online để ước lượng thời gian trễ điều khiển, từ đó nâng cao chất lượng của hệ thống lái, kết hợp với bộ điều khiển bền vững cho thấy hệ thống có khả năng giữ ổn định với đối tượng nằm trong giới hạn của sự không chắc chắn chưa xác định. Điều khiển thích nghi lai ghép với điều khiển mờ cũng là giải pháp đạt hiệu quả trong điều khiển giữ hướng tàu [9]. Phương pháp phân hồi trực tiếp đã được áp dụng cho mô hình toán học của tàu sử dụng công thức Nomoto bậc 1 và bậc 2, phương pháp này đáp ứng khá tốt tín hiệu ngõ ra [10], sử dụng công thức Nomoto bậc 2 kết hợp với phương pháp

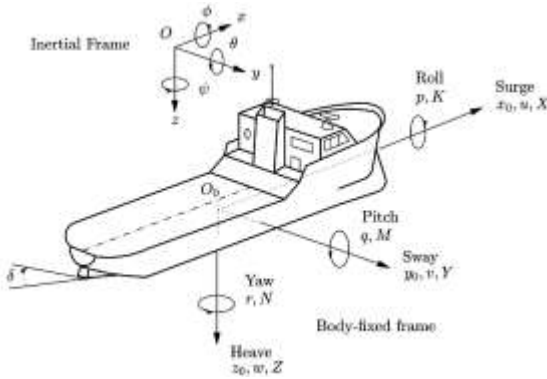
điều khiển DSC [12] đã điều khiển ổn định hướng tàu với các tham số lựa chọn từ thực nghiệm, có thể thấy công thức Nomoto bậc 2 được nhiều nhà nghiên cứu áp dụng.

Đi sâu vào phân tích phương pháp điều khiển nơron - mờ, bộ điều khiển hồi tiếp ngõ ra nơron mờ thích nghi trực tiếp điều khiển phương tiện quân sự [14] có kết hợp với yêu tố thay đổi độ sâu của mực nước biển và vận tốc của dòng nước chảy ảnh hưởng đến mô hình cũng phần nào thấy được khả năng đáp ứng tốt và tính ổn định của phương pháp điều khiển nơron - mờ, trong khi đó việc ứng dụng bộ điều khiển ANFIS [15] cũng phần nào giảm thiểu ảnh hưởng của môi trường lên đáp ứng và tính ổn định của hệ thống. Căn bản dựa trên những nghiên cứu lý thuyết được trình bày trong [15], nhóm tác giả đã xây dựng và thử nghiệm trên tàu mô hình Santana phương pháp điều khiển nơron - mờ sử dụng luật điều khiển Takagi - Sugeno (TKS) dưới tác động của sóng, gió, dòng chảy và các ngoại lực khác tác động vào tàu.

Bài báo được tổ chức như sau: trong phần 2, giới thiệu mô hình động học tàu thủy, mô hình sóng, gió và dòng chảy. Cấu trúc bộ điều khiển nơron - mờ giới thiệu ở phần 3 với luật học theo phương pháp TKS, kết quả mô phỏng so sánh phương pháp áp dụng với phương pháp kinh điển. Các lý thuyết ở phần 3 được nhúng vào mô hình tàu Santana đã thiết kế, kết quả thử nghiệm thực tế trong điều kiện môi trường tĩnh và môi trường thay đổi đưa ra ở phần 4, phần 5 là kết luận và các hướng nghiên cứu mở rộng của bài báo.

2. Mô hình động học của tàu

2.1. Mô hình động học của tàu thủy



H.1 Hệ trục tọa độ tương đối (hệ trục tọa độ gắn với tàu)

Để mô tả chuyển động của một phương tiện trên biển, thông thường sử dụng mô hình động học 6 bậc tự do [1, 14], tùy theo yêu cầu và độ chính xác mà có thể chọn số bậc tự do cho phù hợp, phổ biến hiện nay là sử dụng 3 bậc tự do với hệ trục tọa độ tuyệt đối và hệ trục tọa độ tương đối. Vị trí (x, y) và hướng đi của tàu (ψ) trong hệ trục tọa độ tuyệt đối $X_E Y_E Z_E$ (hệ trục tọa độ gắn với trái đất) được biểu diễn dưới dạng vector $\eta = [x, y, \psi]^T$; tốc độ theo trục dọc, trục ngang và tốc độ quay quanh trục thẳng đứng được biểu diễn bằng vector $v = [u, v, r]^T$. Tâm của hệ trục tọa độ tương đối XYZ (hệ trục tọa độ gắn với tàu) đặt ở

mặt phẳng dọc trục của tàu, cách trọng tâm tàu một khoảng x_G .

$$\begin{aligned} m(\dot{u} - vr - x_G r^2) &= X_M = X_A + X_S \\ m(\dot{v} + x_G \dot{r} + ur) &= Y_M = Y_A + Y_S \\ I_{zz} \dot{r} + mx_G(\dot{v} + ur) &= N_M = N_{GA} + N_{GS} \end{aligned} \quad (1)$$

Trong đó:

- m : khối lượng của tàu
- v, u, r : vận tốc chuyển động của tàu theo các trục với tâm ở giữa tàu.
- I_{zz} : moment quán tính của tàu theo hướng đi.
- x_G : vị trí tọa độ trọng tâm của tàu.
- X_A, Y_A, N_A : lực và moment của gia tốc u, v, r sinh ra.
- X_S, Y_S, N_S : lực và moment của vận tốc u, v, r do góc bánh lái δ và số vòng quay của chân vịt n sinh ra.

Dạng tổng quát của công thức miêu tả mối liên hệ giữa lực và moment với các thành vận vận tốc và gia tốc của u, v, r do góc bánh lái δ và số vòng quay của chân vịt như sau:

$$\begin{aligned} X_A &= f_{AX}(\dot{u}) = X_u \dot{u} \\ Y_A &= f_{AY}(\dot{v}, \dot{r}) = Y_v \dot{v} + Y_r \dot{r} \\ N_A &= f_{AN}(\dot{v}, \dot{r}) = N_v \dot{v} + N_r \dot{r} \\ X_S &= f_{SX}(u, v, r, \delta, n) \\ Y_S &= f_{SY}(u, v, r, \delta, n) \\ N_S &= f_{SN}(u, v, r, \delta, n) \end{aligned} \quad (2)$$

Bằng cách khai triển và biến đổi Taylor [10], phương trình thể hiện mối liên hệ giữa góc bánh lái và hướng đi của tàu được thể hiện ngắn gọn theo công thức Nomoto (3):

$$T_1 T_2 \ddot{r} + (T_1 + T_2) \dot{r} + r = K(\delta + T_3 \dot{\delta}) \quad (3)$$

Các hệ số trong công thức trên

$$\begin{aligned} T_1 T_2 &= (I_{zz} + J_{zz})(m + m_y) / D \\ T_1 + T_2 &= -(I_{zz} + J_{zz})Y_v + (m + m_y)N_r / D \\ K T_3 &= N_\delta (m + m_y) / D \\ K &= -(Y_\delta N_v + N_\delta Y_v) / D \\ D &= N_r Y_v + \{(m + m_x)U - Y_r\} N_v \end{aligned}$$

2.2. Nhiễu tác động vào đối tượng

Nhiễu tác động vào thân tàu gồm nhiều thành phần, trong đó ảnh hưởng của sóng, gió và dòng chảy là lớn nhất. Thông thường mô hình tàu bị nhiễu chủ yếu do nhiễu sóng bậc nhất, phương trình xấp xỉ tuyến tính phổ sóng nhiễu tần số cao được cho bởi công thức sau [15]:

$$h(s) = \frac{K_w s}{s^2 + 2\xi \omega_0 s + \omega_0^2} \quad (4)$$

Với hệ số K_w là hệ số trạng thái, phụ thuộc vào trạng thái biên, $K_w = 2z\omega_s w$ với s_w là hệ số mô tả mật độ sóng; z là hệ số tắt dần tương đối; w là tần số sóng trôi (thông số thiết kế). Hệ số tắt dần tương đối z có thể được chọn ngẫu nhiên và $z < 10$, ω_0 là tần số nhiễu tác động.

Mô hình sóng tần số cao của tàu: xét theo chuyển động tiến, dạt và quay trở có thể được mô tả như các phương trình vi phân (5), (6) và (7) sau:

$$\begin{aligned} \dot{\xi}_x &= x_H \\ \dot{x}_H &= -2\xi\omega_0 x_H - \omega_0^2 \xi_x + K_w w_x \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \dot{\xi}_y &= y_H \\ \dot{y}_H &= -2\xi\omega_0 y_H - \omega_0^2 \xi_y + K_w w_y \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \dot{\xi}_\psi &= \psi_H \\ \dot{\psi}_H &= -2\xi\omega_0 \psi_H - \omega_0^2 \xi_\psi + K_w w_\psi \end{aligned} \quad (7)$$

Với w_x, w_y, w_ψ là các quá trình nhiễu trắng Gaussian.

Mô hình dòng chảy tần số thấp: Giả thiết dòng chảy là hằng số cả về hướng và biên độ sao cho tốc độ dòng chảy V_c và hướng β_c có thể được mô hình hóa là các thông số biến đổi chậm trong hệ trục trái đất. Tốc độ dòng chảy theo hệ trục thân tàu đạt được thông số qua phép đổi hệ trục [15]:

$$\begin{aligned} u_c &= V_c \cdot \cos(\beta_c - \psi_L - \psi_H) \\ v_c &= V_c \cdot \sin(\beta_c - \psi_L - \psi_H) \end{aligned} \quad (8)$$

Trong đó ψ_L, ψ_H là các thành phần góc chịu tác động của tần số thấp và tần số cao của góc quay, thêm vào u_c, v_c là các thành phần vận tốc của dòng chảy.

Mô hình gió tần số thấp: Tốc độ gió tần số thấp là V_w và hướng là β_w được mô hình hóa là các đại lượng biến đổi chậm. Ta có thể biểu diễn mô hình này dạng không gian trạng thái như sau [15]:

$$\tau_{wind} = [X_{wind}, Y_{wind}, N_{wind}]^T \quad (9)$$

Trong đó: $X_{wind}, Y_{wind}, N_{wind}$ là lực tác động của gió lên tàu và được cho bởi công thức sau:

$$\begin{aligned} X_{wind} &= 0.5C_X g_R \rho_w V_R^2 A_T \\ Y_{wind} &= 0.5C_Y g_R \rho_w V_R^2 A_T \\ N_{wind} &= 0.5C_N g_R \rho_w V_R^2 A_L L \end{aligned} \quad (10)$$

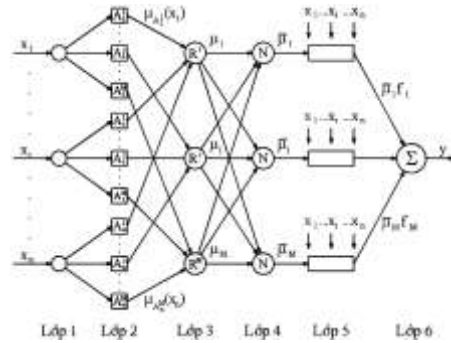
Với C_X, C_Y, C_N là các hệ số lực kéo và momen, A_T, A_L là các diện tích hình chiếu ngang và hình chiếu cạnh, L là chiều dài của tàu, V_R, g_R là tốc độ và hướng gió tác động lên tàu và được tính như sau:

$$\begin{aligned} V_R &= V_w \\ g_R &= \beta_w - \psi_L - \psi_H \end{aligned} \quad (11)$$

3. Thiết lập bộ điều khiển nơron – mờ

3.1. Cơ sở thiết kế bộ điều khiển nơron – mờ

Sự khác biệt chủ yếu của luật hợp thành TKS là đầu ra của luật có dạng phương trình tuyến tính của các biến đầu vào, cấu trúc bộ điều khiển thể hiện trong hình H.2:



H.2 Cấu trúc của bộ điều khiển nơron – mờ

Luật đầu vào thứ k được phát biểu như sau [15]:

R_k : nếu x_1 là A_{1j} và x_2 là A_{2j} và ... và x_n là A_{nj} thì

$$y = f_j = p_0^j + \sum_{i=1}^n p_i^j x_i \quad (12)$$

Trong đó x_i – các biến đầu vào, y : biến đầu ra, A_{ij} : giá trị ngôn ngữ của biến đầu vào với hàm thuộc $\mu_{A_i^j}(x_i)$, p_i^j : hệ số của phương trình tuyến tính $y = f_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$, $j = 1 \div m, i = 1 \div n$.

Cấu trúc của bộ điều khiển nơron – mờ gồm có 6 lớp [15] với sai lệch trung bình bình phương giữa tín hiệu đầu ra mong muốn y_m và tín hiệu đầu ra thực y được tính như sau:

$$E = \frac{1}{2} \left[y^m - \sum_{j=1}^M \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^j}(x_i) \right) f_j / \sum_{j=1}^M \left(\prod_{i=1}^n \mu_{A_i^j}(x_i) \right) \right]^2 \quad (13)$$

Mạng nơron – mờ có thể được huấn luyện trên cơ sở thuật toán kép bằng cách sử dụng phương pháp lan truyền ngược để điều chỉnh các thông số của lớp 2 và phương pháp sai số bình phương nhỏ nhất để chỉnh định các thông số của lớp 5. Trong lớp 2, hàm liên thuộc có dạng hình quả chuông được ứng dụng phổ biến và hiệu quả cao.

$$A_i^j(x_i) = \frac{1}{1 + \exp\left(-c_i^j \frac{x_i - a_i^j}{b_i^j}\right)} \quad (14)$$

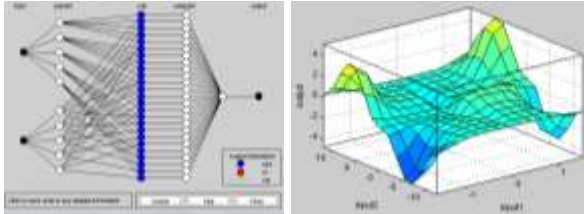
Luật cập nhật các thông số điều chỉnh của lớp 2 có dạng như sau:

$$\begin{aligned} a_i^j(t+1) &= a_i^j(t) - \eta_a \frac{\partial E}{\partial a_i^j(x_i)} \\ b_i^j(t+1) &= b_i^j(t) - \eta_b \frac{\partial E}{\partial b_i^j(x_i)} \\ c_i^j(t+1) &= c_i^j(t) - \eta_c \frac{\partial E}{\partial c_i^j(x_i)} \\ p_i^j(t+1) &= p_i^j(t) - \eta_p \frac{\partial E}{\partial p_i^j(x_i)} \end{aligned} \quad (15)$$

trong đó: $\eta_a, \eta_b, \eta_c, \eta_p$ là các hệ số học.

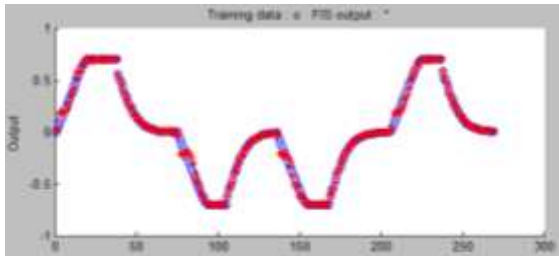
3.2. Thiết lập các thông số mô phỏng

Huấn luyện Bộ điều khiển ANFIS được cài đặt với 2 ngõ vào, mỗi lớp có 5 nơon, tổng số luật hợp thành là 25 luật với ngõ ra là dạng trung bình trọng số. Việc thiết kế các hàm thành viên ngõ vào-ra thiết kế theo phương pháp như trong [15].



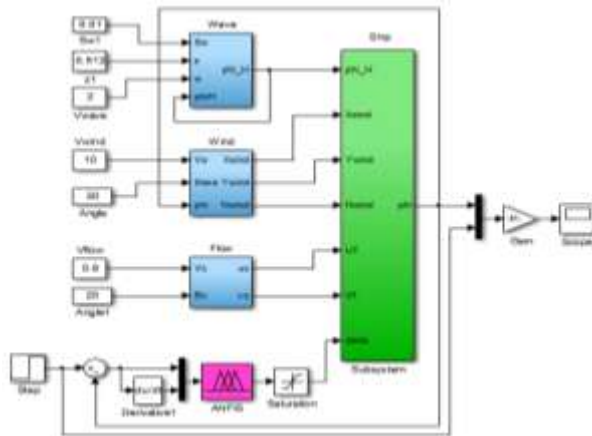
H.3 Bộ điều khiển nơon – mờ thiết lập trên Matlab

- Sai số của quá trình huấn luyện: 0.002621
- Số lượng mẫu dữ liệu huấn luyện: 265



H.4 Kết quả quá trình huấn luyện

Quá trình huấn luyện với tập dữ liệu đầu vào (màu xanh) với kết quả quá trình huấn luyện (màu đỏ) cho thấy quá trình huấn luyện đạt kết quả tốt. Mô hình tàu được thiết lập và mô phỏng theo dạng phương trình (6), ta có thể lựa chọn các thông số cơ bản của tàu như sau: $K_0 = 5.88$, $T_{10} = -16.91$, $T_{20} = 0.45$, $T_{30} = 1.43$.

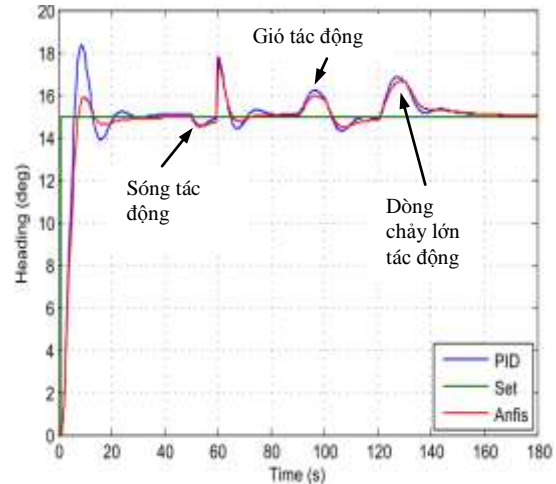


H.5 Mô phỏng mô hình tàu SANTANA với bộ điều khiển ANFIS. Mô hình sóng tác động lên tàu theo phương trình (5), (6), (7) lựa chọn các thông số như sau: hệ số mật độ sóng $S_w = 0.01$, hệ số tắt dần của sóng $z = 0.512$, $w_0 = 0.002$. Tàu chịu tác động của dòng chảy theo phương trình (8), yếu tố tần số thấp và tần số cao của góc quay được bỏ qua $\psi_L = \psi_H = 0$, tốc độ dòng chảy $V_c = 2\text{m/s}$, góc dòng chảy ngược với hướng tàu $\beta_c = 30^\circ$. Gió tác động lên tàu theo

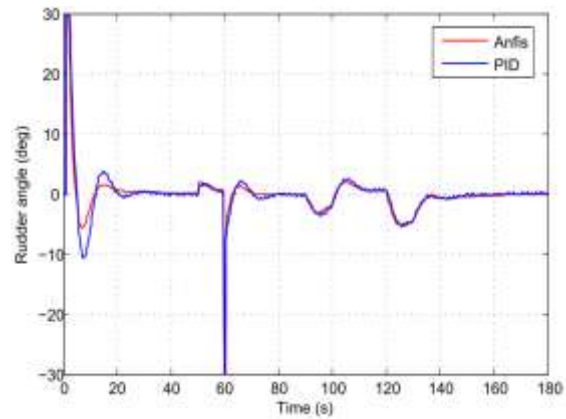
phương trình (10), các hệ số của phương trình sóng trong mô phỏng như sau: $A_T = 9.34$, $A_L = 2.4$, tốc độ gió $V_w = 2\text{m/s}$, góc của gió tác động lên tàu $\beta_w = 20^\circ$.

3.3. Kết quả mô phỏng

Kết quả mô phỏng hệ thống với các thử nghiệm ảnh hưởng của môi trường thể hiện trong hình H.6 và H.7.



H.6 Hướng đi của tàu khi có tác động nhiễu ngoài



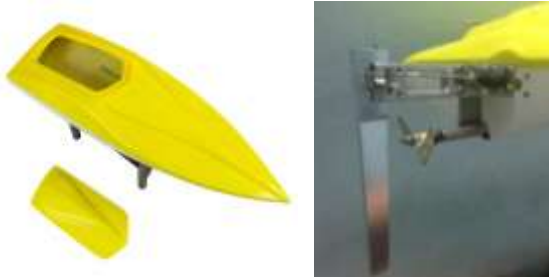
H.7 Góc bẻ lái của tàu

Dưới tác động của sóng, gió và dòng chảy, bộ điều khiển ANFIS giúp tàu ít bị dao động, hướng tàu bị lệch ít hơn so với bộ điều khiển bằng PID. Mặc khác, trong biểu đồ góc bẻ lái của tàu cho thấy góc bẻ lái tối ưu, giúp tàu nhanh chóng quay về trạng thái ổn định hoặc đưa và về hướng đi mong muốn với sự giao động của góc bẻ lái là ít nhất, thời gian xác lập nhanh và khả năng thích nghi tốt. Bên cạnh đó, góc bẻ lái bằng bộ điều khiển ANFIS điều khiển tối ưu hơn, tác động nhanh hơn và ít bị dao động so với bộ điều khiển bằng PID. Tuy nhiên, có một nhược điểm là bộ điều khiển ANFIS có đáp ứng tương đối giống với bộ điều khiển PID do bản thân dữ liệu huấn luyện mạng ban đầu được ghi nhận từ mô hình lái với bộ điều khiển PID, vấn đề này sẽ được giải quyết nếu dùng phương pháp huấn luyện on-line để huấn luyện mạng.

4. Thiết kế và thử nghiệm bộ điều khiển Nơron – mờ trên mô hình tàu Santana

4.1. Thiết kế mô hình

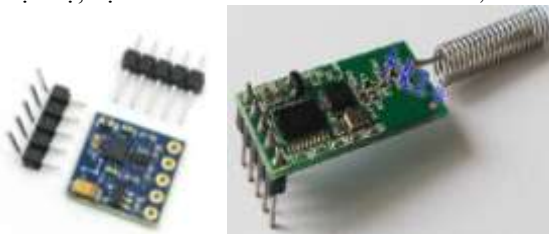
Thiết kế mô hình tàu thí nghiệm theo dạng tàu tự hành SANTANA, được chế tạo tại Phòng thí nghiệm tự động hóa - Đại học GTVT TP.HCM. Vỏ tàu làm bằng vật liệu composite, thiết kế theo kiểu Mono Hull theo nguyên mẫu của Nhật với kích thước và tỷ lệ đúng. Các kích thước cơ bản của tàu bao gồm chiều dài của tàu 100cm, chiều cao 18cm, chiều rộng 22cm và tổng khối lượng của tàu là 2.8kg. Kiểu dáng thon, gọn, cân bằng tốt khi chạy với tốc độ vừa và cao, có thể kết hợp được với bộ tự động lật tàu khi bị chìm (hình H.8).



H.8 Mô hình tàu SANTANA và hệ chân vịt - bánh lái

Nguyên tắc thiết kế và sơ đồ phần cứng trình bày trên hình H.11, trong đó tàu Santana nhận tín hiệu điều khiển từ máy tính thông qua giao diện được xây dựng bằng Visual Basic, cập nhật hướng đi hiện tại của tàu thông qua cảm biến la bàn số, tất cả dữ liệu đưa vào bộ điều khiển Anfis được nhúng trong card điều khiển DSP (TMS320F28335) với dữ liệu nguồn lấy từ các kết quả mô phỏng trên Matlab. Tín hiệu điều khiển từ card DSP điều khiển góc bẻ bánh lái của tàu và nhận tín hiệu phản hồi bẻ lái từ mạch điều khiển (Pic 16F877A), đồng thời hướng tàu thực tế phản hồi về máy tính từ la bàn số (HMC5883L) thông qua hệ thống thu phát dữ liệu không dây (CC1101). Trong quá trình thử nghiệm, con người hoàn toàn điều khiển và giám sát từ xa con tàu thông qua máy tính.

Module HMC5883L giao tiếp theo chuẩn I2C (hình H.9), giá trị góc trả về là dữ liệu 16 bit với thông số của cả 3 trục tọa độ, độ chính xác của cảm biến lên đến $0,1^\circ$.

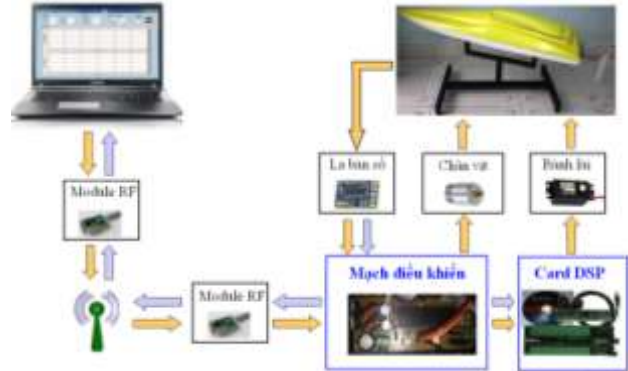


H.9 La bàn số và module truyền nhận dữ liệu CC1101



H.10 Mạch điều khiển sử dụng Pic 16F877A

Thiết kế một mạch giao tiếp bằng vi điều khiển Pic 16F877A (hình H.10) để giao tiếp với khối dữ liệu không dây nhận tín hiệu bao gồm: chế độ điều khiển, góc đặt (chế độ lái tự động) hoặc góc điều khiển (chế độ lái bằng tay), tín hiệu điều khiển (Start, Stop), và nhận phản hồi tín hiệu góc từ cảm biến la bàn số (hình H.11).



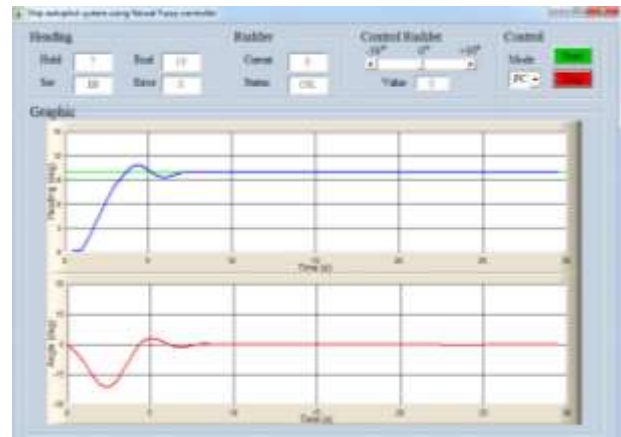
H.11 Sơ đồ kết nối hệ thống lái tự động tàu Santana

4.2. Thử nghiệm hoạt động

Việc thử nghiệm trong môi trường tĩnh tiến hành tại Trường đại học GTVT TP.HCM, và thử nghiệm có ảnh hưởng của môi trường động tại sông Sài Gòn (hình H.12), kết quả thử nghiệm trên các hình H.13, H.14, và H.15.

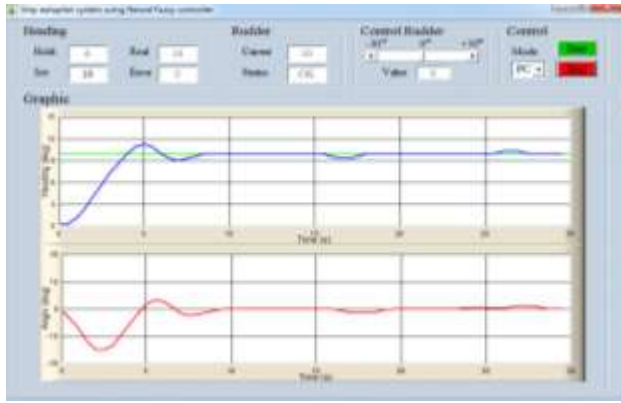


H.12 Chạy thử nghiệm lấy kết quả



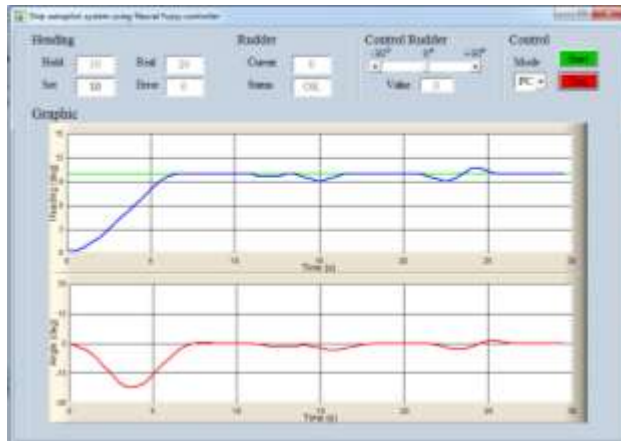
H.13 Chế độ lái tự động khi môi trường tĩnh

Kết quả thực tế thu được khi tàu chạy trong môi trường tĩnh (không có tác động của sóng, gió và dòng chảy), tốc độ của tàu 0.5m/s, góc bẻ lái cho phép là $10^\circ/s$. Với góc đặt 10° , tàu đạt giá trị đặt trong 4s (tính cả thời gian tàu khởi động) và di chuyển ổn định tại giây thứ 7, góc bẻ lái của tàu hoạt động tối ưu và giúp tàu nhanh chóng hoạt động ổn định (hình H.13).



H.14 Chế độ lái tự động khi nhiễu môi trường tác động nhẹ

Khi tàu di chuyển trong môi trường có tác động nhẹ, dòng chảy tương đối thấp, sóng dao động biên độ nhỏ, vận tốc gió khoảng 0.25m/s và có phương vuông góc với hướng đi của tàu, tốc độ của tàu là 0.5m/s. Với góc đặt 10° , tàu đạt trạng thái ổn định tại giây thứ 8 (do tác động của sóng liên tục nên thời gian đạt trạng thái ổn định lâu hơn), thời điểm giây thứ 16 thì có sự kết hợp giữa gió và sóng nên tàu bị lệch hướng khoảng 1° , hệ thống lái điều khiển tàu nhanh chóng quay về giá trị đặt. Thời điểm giây thứ 26 thì tàu chịu tác động từ dòng chảy và sóng nhẹ, hướng thực bị lệch khỏi giá trị đặt, nhưng sau đó hệ thống điều khiển tác động để quay lại giá trị đặt (hình H.14).



H.15 Chế độ lái tự động khi sóng gió tác động mạnh

Với điều kiện thời tiết xấu hơn, hệ thống thực tế vẫn giữ được tính ổn định (hình H.15), thời gian dao động ngắn với biên độ nhỏ, điều này cho thấy tính hiệu quả của phương pháp thiết kế cho dù ảnh hưởng của nhiễu (bao gồm cả nhiễu và trễ do quá trình thu thập dữ liệu không đầy). Việc thực nghiệm với rất nhiều trường hợp tình trạng mặt nước, kết quả là hệ thống lái sử dụng phương pháp Noron – mờ với các luật học trọng số được lựa chọn phù hợp luôn có đáp ứng tốt hơn phương pháp PID thông thường, thực tế hoàn toàn phù hợp với những kết quả mô phỏng ban đầu trên Matlab.

5. Kết luận

Trong bài báo, các tác giả đã thiết kế hệ thống máy lái tự động cho tàu thủy sử dụng phương pháp Noron – mờ, kết

quả thực nghiệm thu được so sánh với phương pháp PID kinh điển. Kết quả cho thấy, bộ điều khiển ANFIS với các luật học được lựa chọn và các trọng số của quá trình học đã giúp cho tàu di chuyển theo đúng hướng đã đặt trước trong thời gian ngắn và không bị dao động, bên cạnh đó hệ thống cũng đáp ứng nhanh trước các tác động của ngoại cảnh như: sóng, gió, dòng chảy giúp tàu nhanh chóng trở lại hướng đặt trước, di chuyển ổn định và tối ưu hơn. Xét về đáp ứng của bánh lái với những thay đổi đột ngột, thử nghiệm cho thấy bánh lái dao động ít hơn, đáp ứng nhanh giúp tàu duy trì được hướng đi mong muốn và tốn ít năng lượng, chính những điều này thể hiện được ưu điểm vượt trội hơn so với bộ điều khiển PID thông thường. Kết quả thực nghiệm trên mô hình tàu SANTANA thực tế cũng đã minh chứng được những kết luận khi khảo sát bằng lý thuyết. Hướng nghiên cứu trong bài báo này là một hướng mở có thể nghiên cứu sâu rộng hơn các vấn đề được đề cập để thực nghiệm kiểm chứng và mong muốn thu kết quả tốt hơn trong thời gian tới.

Tài liệu tham khảo

- [1] C.Noor, K.B.Samo, W.B.W.Nik., *ship manoeuvring assessment by using numerical simulation approach*, International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST), Vol. 4 No.1, pp. 338-348, Jan. 2012.
- [2] T. Perez and M. Blanke., *Mathematical Ship Modeling for Control Applications*, Technical Report. Dept. of Electrical and Computer Engineering, Technical University of Denmark, pp.1-22, 2002.
- [3] Y. Yoshimura., *Mathematical Model for Manoeuvring Ship Motion (MMG Model)*, Workshop on Mathematical Models for Operations involving Ship-Ship Interaction, pp. 1-6, Tokyo, Aug, 2005.
- [4] G. Dubbioso, S. Mauro, and M. Viviani; *Off-Design Propulsion Power Plant Investigations by Means of Free Running Manoeuvring Ship Model Test and Simulation Techniques*; International Offshore and Polar Engineering Conference (ISOPE 2011), pp. 943-950, USA, Jun. 2011.
- [5] J. Wills., *Dynamic Positioning Simulator*, Interim Report, Delft University of Technology, Rotterdam, 2007.
- [6] T. I.Fossen, and M. J.Paulsen., *Adaptive Feedback Linearization Applied to Steering of Ships*, the 1st IEEE conference on Control Applications, Ohio, Sep, 1992.
- [7] Xuan-Kien Dang, Hoang-Dung Tran, Duc-Cuong Quach; *Robust Controller Design for Ship Autopilot with Unknown Time-delay*; Viet Nam conference on Control and Automation (VCCA 2011), pp.19-25, Nov, 2011.
- [8] Xuan-Kien Dang, Hoang-Dung Tran, Duc-Cuong Quach; *Ship Autopilot Design Based on Adaptive Smith Predictor Under the Effect of Uncertain Time-delay and Disturbances*; Proc. The 6th Viet Nam conference on Mechantronics (VCM 2012), Hanoi.Dec, 2012,
- [9]J. Velagic, Z. Vukic and E. Omerdic., *Adaptive fuzzy ship autopilot for track-keeping*, Control Engineering Practice, Vol 2, pp.433-443, Elsevier, 2002.

Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về Điều khiển và Tự động hóa - VCCA-2015

[10] A.S.Aisjah., *An Analysis Nomoto Gain and Norbin Parameter on Ship Turning Maneuver*, Journal for Tech and Science, Vol. 21, No. 2, pp.1-7, May 2010.

[11] F. Yu., *Adaptive Fuzzy Design of Ship's Autopilot with Input Saturation*, Conf. on Information Technology and Applications (ITA), pp. 312 – 317, China, Nov, 2013.

[12] M. Tomera: *Nonlinear Controller Design of a Ship Autopilot*, Int. J. Appl. Math. Comput. Sci., Vol. 20, No. 2, pp.271–280, 2010.

[13] Naveen.S, and V. MANIKANDAN., *Model predictive controller for ship heading*, Proc. 1st IRF International Conference, Coimbatore, pp. 97-101, March,2014.

[14] Phạm Văn Phúc, Dang Xuan Kien, Trương Duy Trung., *Control system Design for Torpedo using a Direct Adaptive Fuzzy – Neural Output-feedback Controller*; Viet Nam conference on Control and Automation (VCCA 2013), Nov, 2013.

[15] Nguyen Thanh Quynh, Dang Xuân Kien, Nguyen Xuan Phuong., *Ship Autopilot system design using neural-fuzzy controller based on Takagi-Sugeno method under the effect of environmental disturbances*, Conference on Science and Technology of Transport, pp. 296-308, Viet Nam, May, 2015.



Đặng Xuân Kiên, sinh năm 1978 tại Hải Phòng. Năm 2001 anh tốt nghiệp Đại học Hàng Hải Việt Nam chuyên ngành Điện tàu thủy. Năm 2006 anh nhận bằng Thạc sỹ kỹ thuật chuyên ngành Tự động hóa tại Đại học Hàng Hải Việt Nam và năm 2012 anh nhận bằng Tiến sỹ chuyên ngành Lý thuyết và kỹ thuật điều khiển tại Đại học Khoa học kỹ thuật Huazhong.

Tiến sỹ Đặng Xuân Kiên đang là Viện trưởng Viện đào tạo sau đại học - Đại học giao thông vận tải TP.HCM, anh hiện đang là Ủy viên ban chấp hành trung ương Hội tự động hóa Việt Nam. Anh nghiên cứu các vấn đề về điều khiển thông minh và bền vững, điều khiển các phương tiện hàng hải, mạng các hệ thống điều khiển.



Nguyễn Xuân Phương, sinh năm 1967 tại Hà nội. Năm 1989 tốt nghiệp trường đại học Hàng hải Việt nam chuyên ngành điều khiển tàu biển. Năm 2009 tốt nghiệp cao học chuyên ngành điều khiển tàu biển tại trường đại học Giao thông vận tải TP. HCM. Năm 2012 nhận bằng Tiến sỹ chuyên ngành Phân tích hệ thống, điều khiển và xử lý thông

tin tại Viện nghiên cứu khoa học và thực nghiệm điện tử tự động và thiết bị điện Moscow (Liên bang Nga).

Tiến sỹ Nguyễn Xuân Phương hiện đang là giảng viên khoa hàng hải, Trường đại học Giao thông vận tải TP. HCM. Hướng nghiên cứu chính: Tự động điều khiển tàu biển, lý thuyết tối ưu, các thiết bị công nghệ hàng hải.



Nguyễn Thanh Quỳnh, sinh năm 1988. Nhận bằng kỹ sư điện-điện tử trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật thành phố Hồ Chí Minh năm 2011. Anh tốt nghiệp thạc sỹ tại trường Đại học Giao thông Vận tải thành phố Hồ Chí Minh năm 2015.

Thạc sỹ Nguyễn Thanh Quỳnh hiện là nghiên cứu viên tại Viện công nghệ thông tin và tự động hóa, Đại học GTVT TP.HCM. Hướng nghiên cứu chính: tự động hóa công nghiệp và hệ thống nhúng, ứng dụng vi điều khiển cho các hệ thống tự động ứng dụng trong công nghiệp tàu thủy.